

Conference Paper, Published Version

**Stodolny, Uwe; Sommer, Thomas**

## **Szenarienbasierte Modellierung der Grundwasserdynamik bei Hochwasserereignissen in Dresden**

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

**Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103517>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Stodolny, Uwe; Sommer, Thomas (2013): Szenarienbasierte Modellierung der Grundwasserdynamik bei Hochwasserereignissen in Dresden. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Technischer und organisatorischer Hochwasserschutz - Bauwerke, Anforderungen, Modelle. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 48. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 357-364.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



## **Szenarienbasierte Modellierung der Grundwasserdynamik bei Hochwasserereignissen in Dresden**

Uwe Stodolny  
Thomas Sommer

Die Grundwasserdynamik während und nach extremen Hochwasserereignissen kann flächenhaft zu geringen Grundwasserflurabständen führen, die entsprechend der Nutzung des unterirdischen Raumes auch außerhalb der Überflutungsflächen schadenswirksam sein und somit zu einer Erhöhung der durch Hochwasser verursachten Schäden beitragen können. Der im Zusammenhang mit einem Hochwasserereignis erreichte minimale Grundwasserflurabstand (in synoptischer Zusammenstellung) stellt dabei einen wichtigen Parameter für eine Schadensbewertung und -prognose dar.

Abweichend vom oberirdischen Hochwassergeschehen, das direkt beobachtet werden kann, spielt sich die Entwicklung der Grundwasserstände weitgehend im Verborgenen ab. Nur durch Beobachtung an Grundwasseraufschlüssen, wie z.B. Grundwassermessstellen, lassen sich Informationen zur Druckhöhe des Grundwassers zu einem konkreten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort ermitteln. Das macht die Erfassung und Beurteilung möglicher Schäden schwierig.

Die Basis für die Bewertung von GW-Schadenspotenzialen in Dresden waren, innerhalb des BMBF-Forschungsprojektes „MULTISURE“ („Entwicklung multisequenzieller Vorsorgestrategien für grundhochwassergefährdete urbane Lebensräume“; DGFZ 2012), Modellberechnungen der Grundwasserstände bzw. Grundwasserflurabstände für den quartären Dresdner Hauptgrundwasserleiter bei verschiedenen Randbedingungen hinsichtlich der Auswirkungen eines Hochwassers mit einem statistischen Wiederkehrintervall von 100 Jahren (HQ100).

Stichworte: Grundhochwasser, Grundwasserströmungsmodellierung, Grundwasserflurabstände bei Flusshochwasser

### **1 Einleitung**

Die Einbeziehung des Grundwassers stellt bei der Modellierung von Hochwasserereignissen ein generelles Defizit dar. Umgekehrt ist es bei der GW-Modellierung zwar möglich, Interaktionen zu Oberflächengewässern zu berücksichtigen, jedoch ist die Abbildung hochdynamischer Prozesse, z.B. bei kurzen, sehr spitzen Hochwasserereignissen an kleinen Fließgewässern, wenn nicht unmöglich so doch sehr aufwändig. Die Kopplung von GW-Strömungsmodellen mit Simulatoren für weitere, in urbanen Räumen relevante Prozesse hoher Dy-

namik, wie z.B. die Wirkung des Hochwasser in der Kanalisation und die auch dadurch bedingten Oberflächenüberflutungen, ist ein möglicher Weg, die komplexen Vorgänge zu modellieren (*DGFZ 2008*).

Eine zweite Möglichkeit besteht darin, innerhalb eines geeigneten Grundwasserströmungsmodells die angebotenen Randbedingungen derart zu nutzen oder anzupassen, dass auch bei derart vereinfachter Modellierung eine größtmögliche Prozessnähe gewahrt bleibt.

Um im Falle Dresdens auch der Größe des betrachteten Gebietes – der quartäre Grundwasserleiter der Elbaue bedeckt innerhalb der Stadt Dresden eine Fläche von ca. 129 km<sup>2</sup> – gerecht zu werden, wurde der praxisnahe Weg der Modellierung mit einem geeigneten GW-Simulationsprogramm beschritten.

## 2 Modell

Zur Ermittlung der relevanten GW-Stände wurde von der Landeshauptstadt Dresden das seit 1995 aufgebaute, kontinuierlich fortgeschriebene und weiter entwickelte „Grundwasser-Modell Dresden“ bereitgestellt.

Die rechentechnische Grundlage des GW-Modells Dresden bildet die Software PCGEOFIM® 2008. PCGEOFIM® dient der Simulation der Wasserströmung und des Stofftransports im Grundwasserbereich. Es ist durch folgende Eigenschaften optimal an Modellierungsaufgaben der urbanen und Bergbauwasserwirtschaft angepasst:

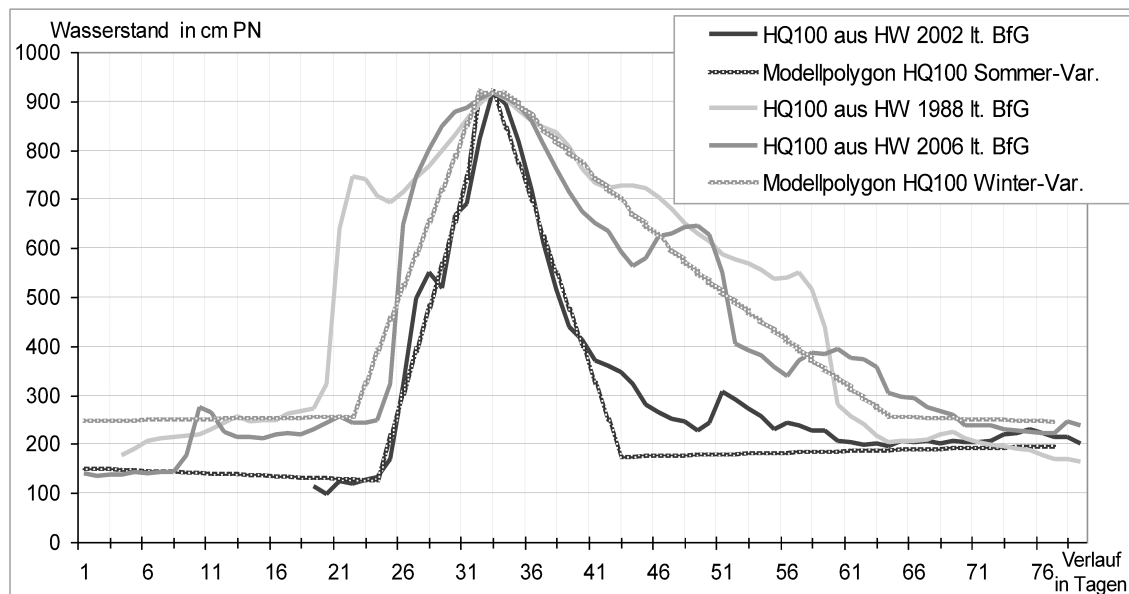
- dreidimensionale Modellierung zur Berücksichtigung der hydrogeologischen Situation im Untersuchungsgebiet in ihrer horizontalen und vertikalen Gliederung;
- Option der lokalen Netzverfeinerung („Lupe“) zur detaillierten räumlichen Erfassung der Bebauung, der Parameter und Anfangsbedingungen;
- bilanztreuer Finite-Volumen-Algorithmus;
- universelle, örtlich und zeitlich variable Randbedingungen.

Strukturell wird der Modellkörper des GW-Modells Dresden durch ein horizontales Raster mit einer Schrittweite von 100 x 100 m gebildet, welches in vertikaler Richtung in 10 Modellschichten diskretisiert ist (*DGFZ 2008*). Bei einer Ausdehnung von 15,8 km (Nord-Süd) bzw. 23,4 km in Ost-West-Richtung und mit zwei implementierten Lupen – „Innenstadt“ 25 x 25m-Raster und „Gewerbegebiet Nord“ 12,5 x 12,5m-Raster – enthält das GW-Modell Dresden ca. 206.000 zum Strömungsraum gehörende Rasterelemente.

## 2.1 Randbedingungen

Als Randbedingungen (RB) wurden berücksichtigt:

- GW-Stände bzw. –Druckhöhen (RB 1. Art): Gemessene und interpolierte Daten als Anfangsbedingung und als Parameter für Kalibrierung und Validierung;
- Fließgewässer Elbe und Nebengewässer 1. und 2. Ordnung als RB 3. Art: Mittlere Wasserstände dienten als Anfangsbedingung. Für die Elbe wurden saisonal differenzierte Hochwasserganglinien aus HQ100-Vorgaben der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) für den Pegel Elbe/Dresden entwickelt (Abb. 1). Die Nebenflüsse wurden mit Wasserstand „Bordvoll“ im Zeitraum höchster Elbewasserstände beaufschlagt.

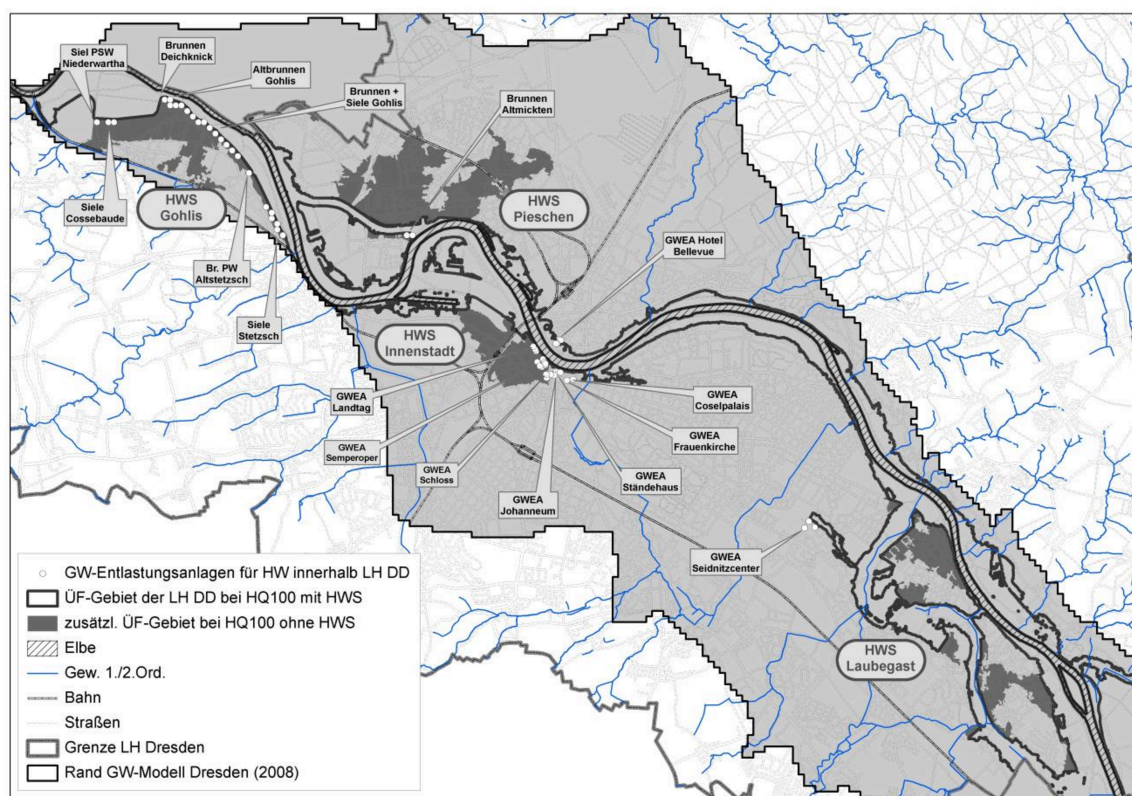


**Abbildung 1:** HQ100-Ganglinien, abgeleitet aus den Hochwasserereignissen 1988, 2002, 2006 (Quelle: BfG) und als Polygonzüge für das GW-Modell

- Überflutungs- bzw. Hochwasserentlastungsflächen der Elbe als RB 3. Art mit variabler Zuflussrate und linearem Anstieg bzw. Rückgang der Überflutungshöhe;
- Grundwasserneubildung (RB 2. Art): Halbjährlich konstante saisonale Mittelwerte aus aktuellen Monatswerten der Jahre 1998 - 2006 für 10 verschiedene Klassen entsprechend Landnutzung, Bodenart und Versiegelungsgrad;
- Grundwassernutzung (RB 2. Art): Entnahmemengen größerer GW-Nutzer mit konstanten Mittelwerten oder saisonal alternierenden Entnahmemengen (Kälteversorgungen).



- Randzuflüsse: RB 2. Art mit konstanten Zuflussraten; Kalibrierung an mittleren Füllungsverhältnissen im quartären GWL.
- Hochwasserschutzmaßnahmen (in Abb. 2) lt. PHD (*LH DD 2010b*): Überflutungsschutzmaßnahmen wurden durch Ausschalten der RB ‚Überflutungsfläche‘ bei ‚HW-geschützten‘ Modellzellen realisiert. Grundwasserentlastungsanlagen, Pumpwerke und Siele wurden als zusätzliche, wasserstandsgesteuerte Entnahmen (RB 2. Art) implementiert.



**Abbildung 2:** Im GW-Strömungsmodell implementierte HW-Schutzmaßnahmen

## 2.2 Szenarien

Aus der großen Bandbreite der möglichen Kombinationen hydrologisch-meteorologischer Randbedingungen wurden zwei saisonal bedingt verschiedene Parametersätze abgeleitet, welche jeweils für eine „sommerliche“ und eine „winterliche“ Variante stehen. Erstere ist hinsichtlich der sich ergebenden Grundwasserstände als ein Minimalszenario anzusehen, während die „Winter“-variante als Maximalszenario einzuordnen ist.

Parallel dazu führten auch die „baulichen“ Randbedingungen zur Unterscheidung zweier Varianten. Die nach dem „Plan Hochwasservorsorge Dresden“ (*LH*

DD 2010b) schon realisierten bzw. im Bau befindlichen sowie ausgewählte geplante Schutzmaßnahmen wurden in einer Variante zu 100% wirksam gesetzt und in der zweiten Variante als wirkungslos gesetzt.

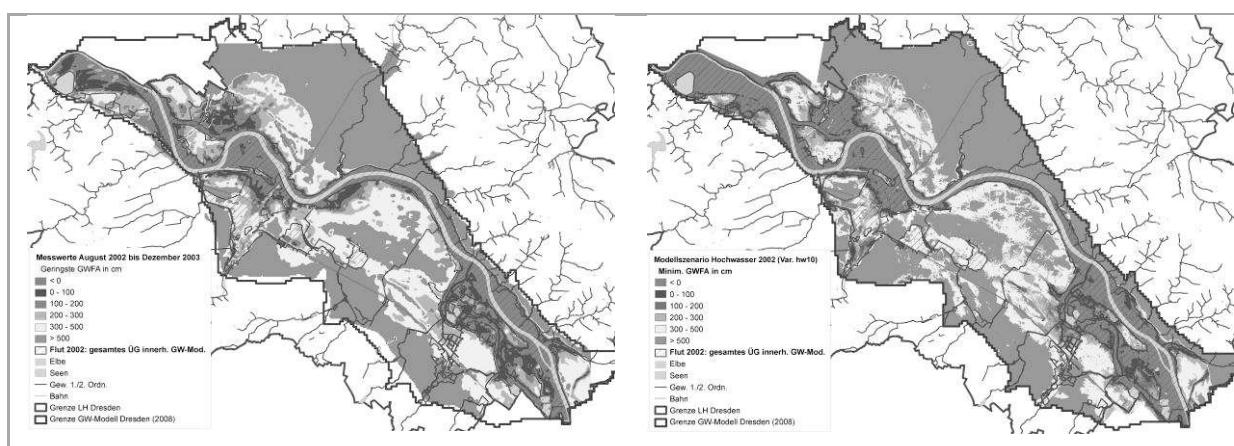
Die Kombination der durch hydro- und meteorologische sowie bauliche Randbedingungen differenzierten Varianten führte letztlich zur Herausbildung von vier HQ100-Szenarien (in Tabelle 1).

**Tabelle 1** Übersicht der modellierten HQ100-Szenarien und ihrer relevanten Inhalte bzw. Unterschiede

Szenario	Hydrologisch - meteorologische Randbedingungen				Bauliche RB	
	Elbe	Weißeritz, Lockwitz und Gew. 2. O.	Anfangs-GW-Stand u. Randzuflüsse	GWN, Entnahmen, Infiltrationsraten	HW-Schutzmaßnahmen	
HQ100-Sommer ohne HWSM	HW mit $W_{\max} = 9,24$ m am Pegel Dresden und " <u>Sommer</u> -Verlauf"	Weißeritz: HQ200 bzw. bordvoll; Lockwitz und Gew. II. Ordnung: HQ100 bzw. bordvoll	Messwerte bzw. Kalibrierung anhand von Messwerten	Mittelwerte der Sommerhalbjahre bzw. unter sommerlichen Bedingungen	keine	
HQ100-Sommer mit HWSM					100 % (nach LH DD 2010b)	
HQ100-Winter ohne HWSM	HW mit $W_{\max} = 9,24$ m am Pegel Dresden und " <u>Winter</u> -Verlauf"				Mittelwerte der Winterhalbjahre bzw. unter winterlichen Bedingungen	keine
HQ100-Winter mit HWSM						100 % (nach LH DD 2010b)

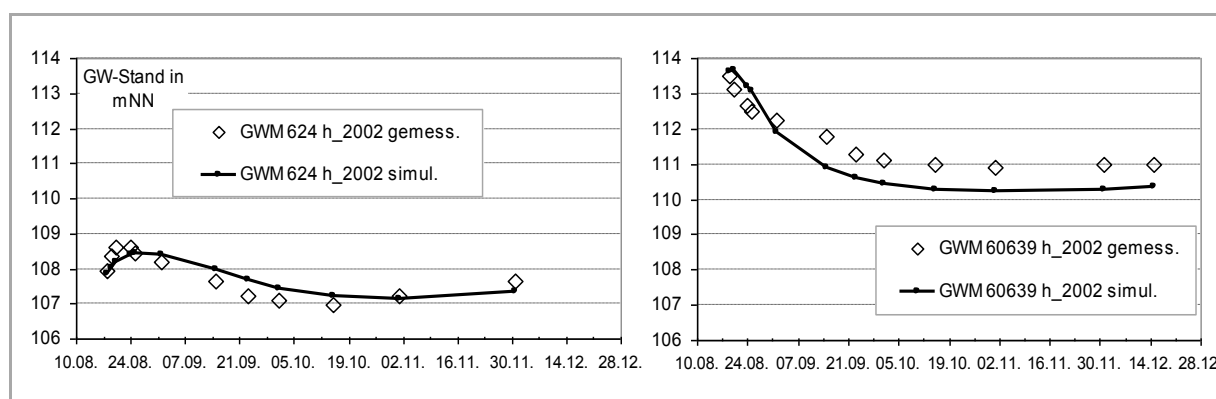
## 2.3 Kalibrierung

Die z.T. gegenläufigen Randbedingungen und ihre unterschiedlichen Kombinationen ließen einen direkten Vergleich von Realdaten (HW 2002) und Simulationsergebnissen (HQ100-Szenarien) nicht zu. Um dennoch die Simulationsgüte des GW-Modells und die verwendeten Modellparameter prüfen zu können, wurde ein Kalibrierszenario für das Hochwasserereignis 2002 entwickelt.



**Abbildung 3:** Gemessene (interpolierte) und simulierte minimale Grundwasserflurabstände für das HW 2002

Die Kalibrierung erfolgte anhand der Differenz lagebezogener Rasterdaten der geringsten bzw. minimalen gemessenen und simulierten GWFA (Abb. 3) und auf der Basis der gemessenen und simulierten Druckspiegelhöhen an 14 Grundwasser-Messstellen (Abb. 4).



**Abbildung 4:** Gemessene und simulierte Grundwasserstände für das HW 2002

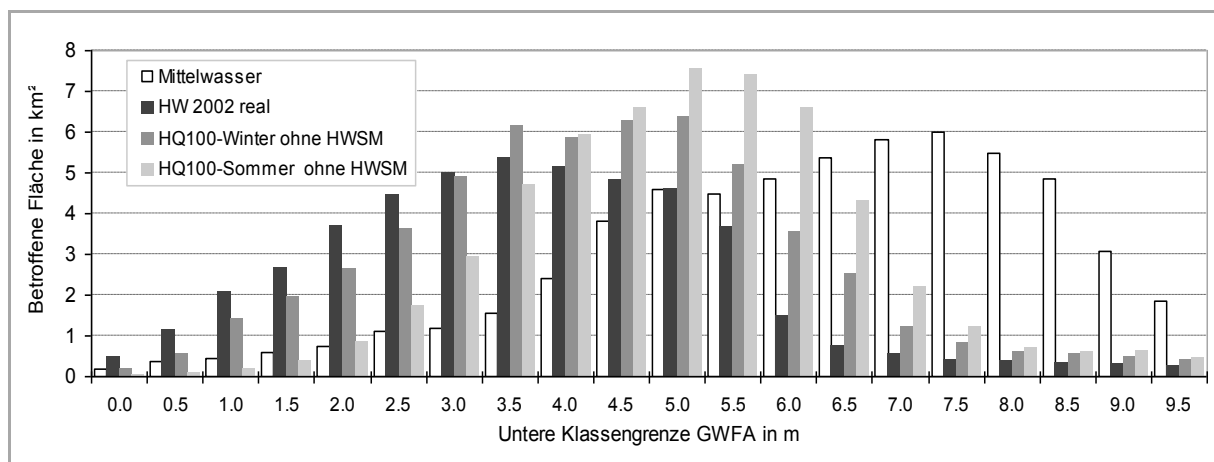
Es zeigte sich, dass eine gute Anpassung des GW-Modells nur mit verschiedenen Parametersätzen, entweder für die Flächen innerhalb oder außerhalb des Überflutungsgebietes, realisiert werden kann. Entsprechend des Modellierungszieles wurde daher ein Parametersatz gewählt, mit dem außerhalb des Überflutungsgebietes, d. h. in den ausschließlich von Grundhochwasser beeinflussten

Arealen, eine optimale Anpassung erreicht wurde, da für diese Flächen im Überflutungsfall ein erhöhtes Schadenspotenzial vorliegt.

### 3 Ergebnisse und Fazit

Für die jahreszeitlich und baulich differenzierten Szenarienvarianten wurden die Parametersätze so angelegt, dass die Ergebnisse Extremszenarien darstellen. Sie begrenzen somit einen Plausibilitätsbereich für die zu erwartenden Grundwasserflurabstände im Falle eines HQ100-Hochwasserereignisses.

Die Ergebnisse, die minimalen GWFA für die HQ100-Szenarien, ordnen sich entsprechend der Größe der hypothetischen HQ100-Hochwasserereignisse zwischen den beiden Zuständen des Mittelwassers und des Realszenarios Hochwasser 2002 ein (Abb. 5). Die simulierten GWFA lassen signifikante Unterschiede zwischen „Sommer“- und „Winter“-Szenarien erkennen.

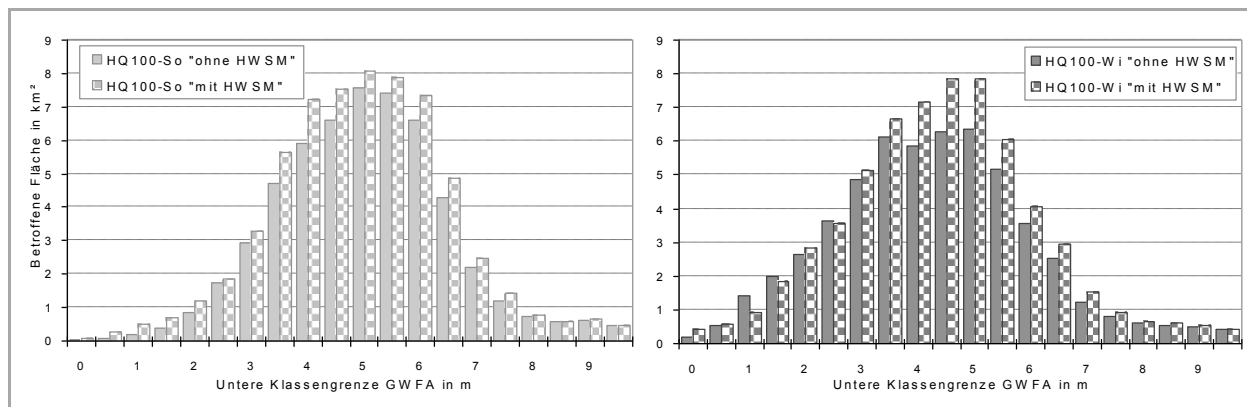


**Abbildung 5:** Häufigkeitsverteilungen der außerhalb der Elbe-Überflutungsfläche aufgetretenen, geringsten GWFA bei Real-Zuständen (Mittelwasser/HW 2002) und in den HQ100-Szenarien „ohne HW-Schutzmaßnahmen“ (HWSM)

Die Häufigkeitsverteilungen in Abb. 6 zeigen, dass bei den Szenarien „mit Hochwasserschutz“ insgesamt mehr Flächen von Grundhochwasser betroffen sind. Es handelt sich dann um jene Areale, die sich bei den Szenarien „ohne HWS“ innerhalb des Überflutungsgebietes befinden und die durch ihre tiefer liegende Geländeoberfläche und durch die Nähe zum zurückgehaltenen, aber höher überstauenden Elbewasser potenziell stärker von Grundhochwasser bedroht sind.

Das Fazit ist, dass eine vereinfachte Modellierung grundwasserdynamischer Prozesse bei Hochwasserereignissen ein effizientes Werkzeug sein kann, wenn bestimmte Voraussetzungen erfüllt sind und, besonders bei der Weiternutzung

der Ergebnisse z.B. für Schadensprognosen, die systemimmanenten Grenzen beachtet werden.



**Abbildung 6:** Häufigkeitsverteilungen der in den HQ100-Szenarien außerhalb der Elbe-Überflutungsfläche aufgetretenen, geringsten GWFA „ohne“ und „mit HW Schutzmaßnahmen“

Dank: Die zugrunde liegenden Ergebnisse wurden im Rahmen des Projektes „Entwicklung multisequenzieller Vorsorgestrategien für grundhochwassergefährdete urbane Lebensräume (MULTISURE)“ erzielt. Das Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 0330755 im Rahmen des Forschungsschwerpunktes RIMAX gefördert.

## 4 Literatur

- DGFZ (2008): Entwicklung eines 3-Zonen-Modells für das Grundwasser- und Infrastrukturmanagement nach extremen Hochwasserereignissen in urbanen Räumen (3ZM-GRIMEX). Abschlussbericht BMBF-Verbundprojekt FKZ: 02WH0557. 12/2008.
- DGFZ (2012): Unterirdische Schadenspotentiale durch Grundhochwasser in urbanen Lebensräumen. Gemeinsame Mitteilungen des Dresdner Grundwasserforschungszentrums e.V. und seiner Partner. Heft 6/2012 (ISSN 1611 - 5627).
- LH DD (2010b): Plan Hochwasservorsorge Dresden. Dresden, Stand 2010.

Autoren:

Dipl.-Hydrologe Uwe Stodolny

Dr. Thomas Sommer

Dresdner Grundwasser-  
forschungszentrum e.V. (DGFZ)  
Meraner Str. 10  
01217 Dresden

Dresdner Grundwasser-  
forschungszentrum e.V. (DGFZ)  
Meraner Str. 10  
01217 Dresden

Tel.: +49 351 40506-46  
Fax: +49 351 40506-79  
E-Mail: [ustodolny@dgfz.de](mailto:ustodolny@dgfz.de)

Tel.: +49 351 40506-65  
Fax: +49 351 40506-79  
E-Mail: [tsommer@dgfz.de](mailto:tsommer@dgfz.de)